



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 10 301 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 L 11/00**  
G 01 N 21/55

⑳ Aktenzeichen: 199 10 301.1  
㉔ Anmeldetag: 9. 3. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 14. 9. 2000

**DE 199 10 301 A 1**

㉑ **Anmelder:**  
Demirplak, Zeliha, 78467 Konstanz, DE

㉒ **Erfinder:**  
gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ **Vorrichtung zur Messung und optischer Darstellung der Komprimierung in Flüssigkeiten und Gasen**

**DE 199 10 301 A 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur dynamischen Messung und optischen Darstellung von Drücken und Druckwellen in flüssigen und gasförmigen Medien, insbesondere zur Darstellung von kurzen Druckimpulsen, sowie generell von komprimierbaren Medien, wie zum Beispiel Flüssigkeiten, viskose Flüssigkeiten, Gasen und Luft.

## Stand der Technik

Zur statischen Messung von Flüssigkeiten und Gasen stehen die bekannten mechanischen Meßverfahren zur Verfügung. Weiterhin gibt es unterschiedliche elektrische und optische Meßmethoden. Die Erfindung befaßt sich mit einer optischen Druckmeßmethode.

## 1. Optische Verfahren mit punktförmigen Lichtquelle

Eine Druckmessung in Flüssigkeiten und Gasen ist durch eine berührungslose Messung des Drucks durch Ablenkung eines Laserstrahls möglich. Der physikalische Hintergrund ist wie folgt: Die Druckänderung ist an eine Brechungsindexänderung gekoppelt. Ändert sich der Brechungsindex im Medium so wird das Laserlicht verzögert durchgelassen. Dieser Effekt äußert sich wie folgt: Der Brechungsindex von Wasser steigt mit dem Druck. Wird nun eine Lichtwelle senkrecht auf einen Druckpuls eingestrahlt, so wird die Lichtwelle zum Druckpuls hin abgelenkt. Diese Methode wurde von Nhan Do, Leander Klees, Andrew C. Tarn, P. T. Leung und Wing P. Leung. Photodeflection probing of the explosion of a liquid film contact with a solid heated by excimer laser irradiation. Journal of Applied Physics, 74 (3): 1534-1538, August 1993. Und Hee K. Park, Dongsik Kim, and Costas P. Grigoropoulos. Pressure generation and measurement in the rapid vaporization of water on a pulsed-laser-heated surface. Journal of Applied Physics, 80 (7): 4072-4081, 1996 vorgestellt (fotoakustische Teststrahlmethode). Der Nachteil dieser Methode ist es, daß ihr zeitliches Auflösungsvermögen durch den Strahldurchmesser begrenzt wird. Außerdem liefert es nur quantitative Daten, deren Analyse sehr mühsam ist. Der Grund hierfür liegt in den physikalischen Eigenschaften der Druckmeßmethode: Der Laserstrahl wird auf der durchleuchteten Wegstrecke der Brechungsindexänderung, und somit dem Druckgradienten, ausgesetzt und kann folglich keine lokale Druckangabe liefern. Es gibt eine Methode von Paltauf et al., die der vorgestellten Thematik ähnelt. Es wird die Reflektivität einer Glas-Wasser-Grenzfläche betrachtet, die mit einer Druckänderung im Wasser variiert. Eine nennenswerte Gegebenheit hierbei ist, daß die Reflektionsänderung für die Einfallswinkel, die knapp unterhalb des Grenzwinkels der Totalreflektion liegen, relativ groß wird.

Eine weitere Ausgestaltung der optischen Meßtechnik sind Glasfaserhydrophone bzw. faseroptische Hydrophone, die jedoch lediglich dynamische Drücke von Flüssigkeiten messen können und insbesondere zur punktuellen Messung von Drücken in Stoßwellen Anwendung finden. Auch sie basieren darauf, daß der Brechungsindex von Wasser druckabhängig ist. Damit ändert sich unter Druck die Reflektivität eines Glasfaserendes in Wasser. Dies kann optisch detektiert und in Druck umgerechnet werden. Nachteilig ist bei diesem Drucksensor das geringe Signal-Rausch-Verhältnis (geringe Empfindlichkeit) aufgrund der kleinen relativen Änderung der Intensität an der Glas-Wasser-Grenzfläche.

Weiterhin sind Meßverfahren bekannt, die mittels Oberflächenplasmonenspektroskopie (OPS) ebenfalls an eine Brechungsindexänderung anknüpfen und die sich den Effekt

der evaneszenten Welle zu Nutze machen.

Bekannt ist z. B. ein Verfahren zur dynamischen Messung von Drücken, welches ein Prisma mit einem aufgedampften Metallfilm verwendet. (ÜK Patent Application GB 2 225 850 A) Dieses Verfahren verwendet ausschließlich eine punktförmige Lichtquelle, die über das Prisma auf die aufgedampfte Metallfläche geleitet wird. Aufgrund der Einkopplung in die evaneszente Welle kann Licht bestimmter Wellenlänge unter einem bestimmten Winkel mit einer bestimmten Metallschichtdicke eine Anregung der Oberflächenplasmonen in der Dielektrikum-Metall-Grenzfläche bewirken. Deren reflektierte Intensität wird aus dem Prisma gelenkt und kann detektiert werden. Durch druckabhängige Reflektion erlaubt dieses Verfahren einen Rückschluß auf den Druck. Die Anordnung arbeitet mittels einer kontinuierlichen Lichtquelle, deren Intensitätsänderungen detektiert werden.

Der Nachteil dieser Anordnung besteht zum einen darin, daß sie ausschließlich mit einer punktförmigen Darstellung des Drucksignals arbeitet und zwangsläufig über die gemessene Fläche einen Durchschnittswert ermittelt. Weiterhin ist die Zuordnung des gemessenen Signals zu der Örtlichkeit (x, y) auf dem Meßsensor zur untersuchenden Druckwelle nicht gelöst und kann nicht zugeordnet werden.

## 2. Optische Verfahren mit flächiger Lichtquelle

Unter allen angewandten haben sich das Schlierenverfahren (Schattenwurftechnik genannt) und die Abbildungen mit Hilfe von Holographien als besonders erfolgreich herauskristallisiert. Doch können diese bildgebenden Verfahren nur gemittelte Informationen über Schockwellen geben. Damit ist gemeint, daß der Druck über eine Strecke gemittelt wird.

Einen charakteristischen Einsatz der Schattenwurftechnik, wobei der Schatten aufgrund der unterschiedlichen Phase auftritt, zeigt M. Müller. Experimental investigations on focusing of weak spherical shock waves in water by shallow ellipsoidal reflectors. Acustica, 64: 85-93, 1987. bei seinen Untersuchungen zur Fokkisierung schwacher sphärischer Stoßwellen in Wasser durch flache, ellipsoidförmige Reflektoren. Dabei werden die laufenden Schockwellenfronten zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einem parallelen Lichtstrahl von der Seite beleuchtet, und ihr Schatten wird mit einer Kamera aufgenommen. Der Nachteil der Schlierenaufnahmen bzw. Schattenwurftechnik, ist, daß sie nur den Schatten der Schockwellen wiedergibt und keine qualitativen Angaben gewonnen werden.

Ein weiteres abbildendes Verfahren ist die Zweireferenzstrahl-Holographie. Schedin et al. benützten sie, um die Konvergenz von Schockwellen optisch zu messen. Die Messungen wurden für unterschiedliche Hohlraumgeometrien in Luft und Wasser durchgeführt. Dabei wird durch die Schockwelle der Brechungsindex des Mediums innerhalb der Kammer verändert, dieser wird mit einem Laserstrahl registriert und mit einem Referenzstrahl zur Interferenz gebracht. Daraus erhält man die gewünschte Information. Nachteilig ist auch hier, daß man keine quantitativen Angaben über den Druck machen kann. Wie bei den Schlierenaufnahmen hat diese Methode den großen Nachteil, daß sie in Strahlrichtung mittelt und somit in dieser Richtung keinerlei Auflösung liefern kann.

Außerdem können aufgrund der hohen Dichte in Wasser die Interferenzstreifen bei dieser Holographie-Methode nicht aufgelöst werden.

## Prinzip der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde eine Anord-

nung zu bilden, die nicht nur eine punktförmige Messung von statischen Drücken erlaubt, sondern eine zweidimensionale, flächige Druckdarstellung der räumlichen Druckverhältnisse gewährleistet. Die erfindungsgemäße Einrichtung verbindet die Vorteile der OPS und wendet die Grundsätze des Schlierenverfahrens, jedoch ohne die bei dieser Methode auftretende ungenaue Brechungsindexmittlung an.

Das Prinzip der Einrichtung nutzt den Effekt, daß sich unterschiedliche Drücke räumlich an der Basis eines Prismas abbilden und fotografiert zu einem bestimmten Zeitpunkt deren Abbildung auf einer zweidimensionalen Ebene, der Basis des Prismas. Es handelt sich um die optische Darstellung räumlicher Druckverhältnisse in einer Ebene. Aufgrund der optischen Darstellung der Druckverhältnisse können Druckwerte zugeordnet werden.

Die Grundanordnung der Einrichtung verwendet eine flächige Lichtquelle, die flächig in ein Prisma wie bei der Oberflächenplasmonenspektroskopie eingeleitet wird. Die reflektierte, austretende Abbildung dieser flächigen Lichtquelle wird mittels einer Kamera aufgezeichnet, in digitaler Form aufbereitet, über eine Rechneinheit in Drücke umgerechnet und am Monitor betrachtet.

Die Grundanordnung der Einrichtung (Fig. 1) umfaßt eine lichtgebende Quelle (1-3), eine Meßsonde (4), ein abbildendes/registrierendes System (5-8) und eine bildverarbeitende Einheit. Ihr physikalisches Prinzip beruht auf der Änderung des Brechungsindex in den Bereichen, die sich in unmittelbarer Nähe der Sonde befinden. Die Bereiche können aus gasförmiger, flüssiger, viskoser und fester Substanz oder Luft bestehen.

#### Lichtquelle (Fig. 1)

1. Das beleuchtende System dient zur Beleuchtung bzw. Anregung des messenden Systems. Es besteht im wesentlichen aus einer Lichtquelle (1) und Linsen (2) zur Einstellung der Optik. In den Strahlengang werden ggf. Elemente wie Lichtfilter, Lichtspalte oder ähnliche die Optik verbessernde Komponenten eingebaut.

2. Diese Lichtquelle besteht aus einer ansteuerbaren, triggerbaren Lichtquelle (1). Diese Lichtquelle kann jede von einer Lichtquelle erzeugte Wellenlänge haben.

#### Meßsonde (Fig. 2)

Als Meßsonde dient ein Prisma mit oder ohne einer dünnen Metallschicht (4) bestehen. Je nach Brechungsindexänderung an der Grenzfläche ändert sich die Reflexion der Metallgrenzfläche, woraus man ein Signal erhält, das man in verschiedene Größen umrechnen kann. Falls auf dem Prisma unmittelbar oder in einem gewissen Abstand eine Metallfläche angebracht wird, so beruht das physikalische Prinzip auf der Oberflächenplasmonenspektroskopie (Kretschman- oder Ottokonfiguration). Als geeignete Metallfilme kommen Aluminium, Gold, Silber und Chrom in Frage. Die Filmdicken betragen zwischen 5 und 80 nm.

Besteht die Meßsonde aus einem Prisma ohne aufgetragenen Metallfilm, so wird das physikalische Prinzip der Totalreflektion ausgenutzt. Bei der Totalreflektion ändert sich der Winkel der reflektierten Intensität je nachdem welcher Brechungsindex an der Glasgrenzfläche herrscht. Aus dieser physikalischen Eigenschaft ergeben sich unterschiedlich reflektierte Lichtintensitäten bei einer flächig eingestrahlten Lichtquelle. Am Rechner kann man diesen Grauwerten Farbwerte zuordnen und so eine Angabe über die an der Grenzfläche existierenden Drücke machen.

#### Bildaufnehmende Einheit (Fig. 1)

Das bildregistrierende (bzw. abbildende) System besteht aus einer abbildenden Optik und einer Kamera. Der abbildenden Optik (z. B. Linse) können je nach Bedarf die Optik optimierende Hilfsmitteln wie z. B. einem Filter vorangestellt sein. Bei der Kamera handelt es sich um eine Photokamera, eine analoge oder digitale Kamera oder einem CCD-Chip. Dies richtet sich nach den Anforderungen an die Apperatur und hängt davon ab, ob die optische Darstellung unmittelbar betrachtet werden soll und ob unmittelbare Druckwerte erwünscht sind. Das bildverarbeitende System enthält grundsätzlich einen Rechner und einen Monitor. Soweit eine analoge Kamera eingesetzt wird, kann die Aufzeichnung über einen Framegrabber digitalisiert werden. Beim Einsatz einer digitalen Kamera ist ein Framegrabber entbehrlich, da diese das Meßsignal selbst digitalisiert. Für in situ-Messungen können ein bildverarbeitendes System unmittelbar an die Apperatur angekoppelt werden.

#### Bildverarbeitende Einheit (Fig. 1)

Nach Einlesen der digitalisierten Abbildung wandelt der Rechner die bei der Detektion des Lichtes aufgenommenen Intensitätswerte, die zunächst nur als Grauwerte darstellbar sind unter Verwendung eines spezifischen Programmes in Farbwerte um, wodurch die optische Darstellung der Druckverhältnisse verbessert wird. Aus diesen Daten können dann zwei- oder auch dreidimensionale farbige Druckverläufe dargestellt werden.

#### Weitere Ausgestaltungen der Erfindung

- a) Einen Scherenaufbau zur korrekten Einstellung des Einstrahl- und Ausfallwinkels. Die Lichtankopplung an die evaneszente Welle erfordert einen bestimmten Einstrahlwinkel, der grundsätzlich vor Durchführung des Meßvorganges ausgemessen werden muß. Dieser Vorgang wird erleichtert, indem die erfindungsgemäße Einrichtung auf einem Scherenaufbau angebracht ist, der mit einem Schrittmotor angetrieben wird. Hierdurch kann der Winkel präzise durchgeführt werden.
- b) Die Grundanordnung, die eine räumliche Darstellung liefert, kann mit einem Meßverfahren kombiniert werden, welches zeitgleich eine zeitaufgelöste Aufzeichnung des Druckverlaufs ermöglicht. Durch die Verwendung einer punktförmigen und kontinuierlichen Lichtquelle, die zeitgleich in dieselbe Meßsonde einstrahlt, kann eine Abbildung des Druckverlaufs zeitaufgelöst an einer definierten Stelle der räumlichen Druckaufzeichnung erfolgen.
- c) Zur Aufnahme der räumlichen Druckverhältnisse verwendet die Grundanordnung eine Lichtquelle, die mit einer kurzen Belichtungszeit die Aufnahme ermöglicht. Als weitere Ausgestaltung der Vorrichtung kann eine kontinuierliche Lichtquelle verwendet werden. Um die Aufnahme durchzuführen wird dann eine ansteuerbare Kamera eingesetzt, deren Belichtungszeit der Dauer des gepulsten Lichtstrahles in der Grundanordnung entspricht.
- d) Die Meßsonde liegt bei einer weiteren Ausgestaltung am Ende eines Lichtleiters, durch den der Lichtstrahl der Grundanordnung über eine bestimmte Entfernung an den Ort der Messung geleitet wird. Die Rückleitung der reflektierten Abbildung erfolgt ebenfalls über den Lichtleiter. Dieser besteht aus einem Hohlleiter, einem optischen Lichtwellenleiter oder einem Flüssig/Glasleiter. Der Vorteil dieser Anordnung

liegt in dem verbesserten Einsatz der Meßsonde durch die erhöhte Zugänglichkeit zu entsprechenden Meßorten. Fig. 4 zeigt wie das Licht aus dem beleuchtenden System über ein Prisma (4) unter einem bestimmten Winkel eingekoppelt, zum Ort der Messung geleitet, dort ein Meßsignal erzeugt, zurückreflektiert und über den gleichen Lichtleiter zurückgeleitet wird. Die bauartbedingte Gestalt und Stoffzusammensetzung des Lichtwellenleiters kommt auf die eingestrahle Lichtquelle an. In den Ansprüchen eines Lichtleiters ist auch ein Hohlleiter (16) mit reflektierender Innenwand geeignet (17). Dieser Hohlleiter hat am Meßkopf eine Optik integriert. Diese Optik ist z. B. ein Prisma (4). Der Lichtwellenleiter der Meßsonde kann z. B. in ein Endoskop eingebaut werden.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung ist eine ortsauflöste Messung möglich, die eine Auflösung im Mikrometerbereich erlaubt. Damit Druckunterschiede dargestellt und im Mikrometerbereich beziffert werden. Abhängig vom lokalen Wasserdruck am Metallfilm wird die Plasmonenresonanz lokal verschoben, in der reflektierten Intensität ergeben sich somit örtliche Variationen, aus denen der Druck berechnet werden kann. Die Plasmonen propagieren an der Metall-Dielektrikum-Grenzfläche, so daß sie über ihre Lauflänge  $L = 1/2 \lambda$  den Druck mitteln. Eine solche Plasmonen-Druck-Mikroskopie hat folglich abhängig von der Plasmonenlauflänge des jeweiligen Film eine maximale Auflösung von ca. 1-10  $\mu\text{m}$ , das ist eine Größenordnung besser als z. B. beim Glasfaserhydrophon.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Erfindung liegt in den breiten Einsatzmöglichkeiten. So können zunächst bislang nicht darstellbare Abbildungen von Stoßwellen, Kavitationsblasen, Druckverläufe im Bereich der Aerodynamik und Hydrodynamik dargestellt werden. Aber auch biologische Systeme können zweidimensional und manchmal nahezu dreidimensional, wie z. B. das Zellwachstum beobachtet werden. Weiterhin kann sie zur Bestimmung von biophysikalischen, physikalischen, chemischen, biologischen, medizinischen, pharmazeutischen Meßgrößen und den genannten Fachbereichen naheliegenden bzw. angrenzenden Größen eingesetzt werden.

Mit der Einrichtung können physikalische Größen, die Fokuslage und -gestalt bei Lithotriptoren bestimmt werden, mit Kenntnis dieser Größen kann eine Ortungshilfe (Sonar, Röntgen) ausgerichtet werden. Dabei wird die Meßsonde im Strahlengang der Stoßwelle z. B. im Koppelbalk oder in ähnlicher Umgebung extrakorporal angebracht. So können den Ärzten in situ bei der Behandlung ihrer Patienten genauere Angaben über die verabreichte Dosis an Stoßwellen und Stärken geliefert werden.

Weiterhin ist ein Einsatz in Endoskopen möglich. So können z. B. Ärzte während der Behandlung Informationen über Veränderungen am Behandlungsort erhalten. Weiterhin kann sie zur Messung der stofflichen Konzentration in Gasen eingesetzt werden. Sie kann in der Pharmazie zur Medikamentenherstellung eingesetzt werden, wobei die Sonde in Zusammenhang mit dem in der Lösung sich änderndem Brechungsindex die vorhandenen Konzentrationen angeben kann.

Eine konkrete Ausgestaltung der Erfindung wird wie folgt dargestellt.

#### Erfindungsgemäße Anordnung

Ein Scherenaufbau (11) sorgt für gleiche Ein- und Ausfallwinkel. Eine Infrarotlaserdiode (1) (Wellenlänge = 910 nm, Halbwertsbreite = 20 ns) dient zur kurzzeitigen An-

regung der Plasmonen und ermöglicht die Anwendung der Pump-Probe-Technik, d. h. der Stroposkop-Aufnahme. Eine plankonvexe Linse  $L_1$  (2) (Brennweite  $f = 100$  mm) und eine plankonkave Linse  $L_2$  (Brennweite  $f = -60$  mm) (3) verkleinern des Strahlprofil und sorgen für parallele Strahlen. Das parallel einstrahlende Licht fällt flächig von einer Seite auf das Prisma (4) ein und regt die Oberflächenplasmonen an. Auf dem Prisma ist eine 2 nm dicke Chromschicht und eine 50 nm dicke Silberschicht angebracht (Fig. 2). Das von der Prismenbasis reflektierte Licht variiert bei Druckeinwirkung in lokal in seiner Intensität. Ein bikonvexe Linse  $L_3$  (Brennweite  $f = 100$  mm) (5) bildet den Silberfilm auf den CCD-Chip einer Videokamera (6) ab, die auf dem rechten Scherenarm befestigt ist. Das Signal der Videokamera wird zeitgleich von einem Videogerät (8) eingelesen und kann später mit einem Framegrabber in digitale Signale umgewandelt und am Rechner (8) in Druckbilder umgerechnet werden. Somit besteht der Aufbau (8) aus einem Videogerät und/oder einem Rechner. Gleichzeitig können diese Bilder während der Messung mit einem Monitor (7) betrachtet werden.

Die dynamische zeitaufgelöste Druckmessung erfolgt wie folgt: Ein HeNe-Laser (13) (Wellenlänge = 632.8 nm) ist unterhalb der horizontal angebrachten IR-Laserdiode (2) auf dem gleichen Scherenarm montiert. Das kontinuierliche Licht (13) strahlt ebenfalls zeitgleich mit dem flächigen Licht (1) in das Prisma (4) ein und kann mit einer Photodiode (6) detektiert und an einem Oszilloskop (15) betrachtet werden.

Zur Verkleinerung der Anordnung kann die Infrarotlaserdiode auch außerhalb des Scherenaufbaus positioniert werden und an ihrer Stelle ein Spiegelsystem zur Einbringung des Lichtstrahls eingesetzt werden.

#### Patentsprüche

1. Einrichtung zur optischen Messung und Darstellung von Drücken und Druckwellen in flüssigen und gasförmigen Medien, sowie zur Messung von Stoffkonzentrationen in diesen Medien, dadurch gekennzeichnet, daß das Licht einer flächigen Lichtquelle an der Grenzfläche eines Prismas reflektiert wird und durch eine analoge oder digitale Aufnahme über eine Kamera aufgezeichnet wird.
2. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzoberfläche eines Prismas mit einer Metallschicht beschichtet ist, die eine Dicke von 5 bis 80 Nanometern aufweist.
3. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzoberfläche eines Prismas mit einer Kunststoffschicht beschichtet ist, die eine Dicke von 5 bis 120 Nanometern aufweist.
4. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzoberfläche eines Prismas mit einem Wellenleiter beschichtet ist, der aus einem Sandwich von Metall und Kunststoffschichten besteht.
5. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß auf die Grenzoberfläche eines Prismas eine Folie aufgetragen ist, die die Merkmale der Ansprüche 2 bis 4 aufweist.
6. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle und die Kamera zur einfachen und korrekten Einstellung des Einstrahl- und Ausfallwinkels auf einem Scherenaufbau montiert sind, der mittels eines Schrittmotors angetrieben wird.
7. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß der reflektierte Lichtstrahl einer zweiten punktförmigen und kontinuierlichen Lichtquelle, die in das Prisma eingestrahlt wird, aufgezeichnet wird und,

deren Signal zur Darstellung des Druckverlaufs zeit-  
aufgelöst an einer definierten Stelle der räumlichen  
Darstellung  
dargestellt wird.

8. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeich- 5  
net, daß die Lichtquelle angesteuert wird und in einem  
zur Aufzeichnung des Druckverlaufes definierten Zeit-  
punktes für ausschließlich diejenige Zeitdauer flächig-  
es Licht aussendet, die erforderlich ist um den Belich-  
tungsvorgang in der Kamera abzuwickeln. 10

9. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeich-  
net, daß die Lichtquelle ein kontinuierliches Licht ab-  
gibt und die Kamera angesteuert wird und in einem zur  
Aufzeichnung des Druckverlaufes definierten Zeit-  
punkt für ausschließlich diejenige Zeitdauer eine Be- 15  
lichtung zuläßt, die erforderlich ist um den Belich-  
tungsvorgang abzuwickeln.

10. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekenn-  
zeichnet, daß anstelle einer digitalen Kamera ein CCD-  
Chip oder eine digitale Fotokamera verwendet wird. 20

11. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekenn-  
zeichnet, daß bei Verwendung einer analogen Kamera  
die Aufzeichnung über einen Framegrabber digitali-  
siert wird.

12. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekenn- 25  
zeichnet, daß die über die Kamera oder den Framegrab-  
ber gewonnenen Daten in einen Rechner eingelesen  
werden, der unter Verwendung eines spezifischen Re-  
chenprogrammes die Daten in Farbwerte umwandelt  
und die Druckwerte optisch als zweidimensionales 30  
Bild darstellt, sowie mehrere zweidimensionale Bilder  
zu einem dreidimensionalen Bild zusammensetzt.

13. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die über die Kamera oder den Framegrab-  
ber gewonnenen Daten in einen Rechner eingelesen 35  
werden, der unter Verwendung eines spezifischen Re-  
chenprogrammes die Daten als beliebige Meß- und  
Druckwerte darstellt.

14. Einrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekenn-  
zeichnet, daß das Frisma am Ende eines Lichtleiters, 40  
der aus einem Hohlleiter oder aus einem optischen  
Lichtwellenleiter besteht, angebracht wird, durch den  
der Lichtstrahl über die Distanz des Lichtleiters an den  
Ort der Messung geleitet und über den die reflektierte  
Aufnahme zur Kamera gelangt. 45

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen.

---

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

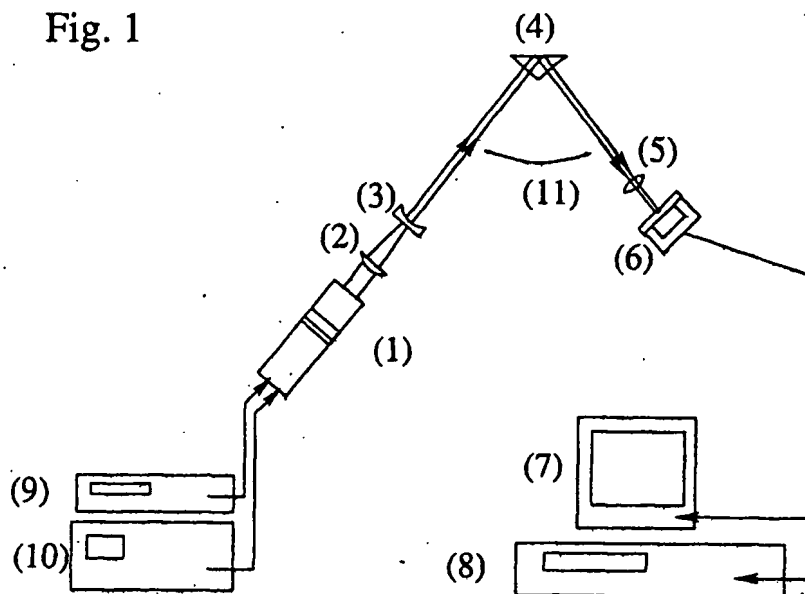


Fig. 2

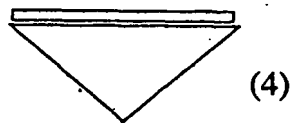
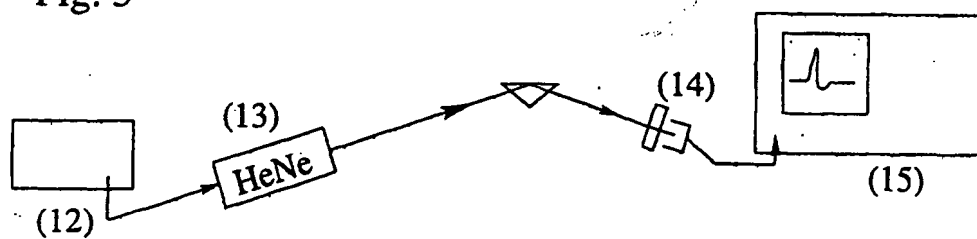


Fig. 3



starre Strahlleitung:

Fig. 4:

